



WaNuLCAS

MODEL SIMULASI UNTUK
SISTEM AGROFORESTRI

Diedit oleh:

Kurniatun Hairiah, Widiyanto, Sri Rahayu Utami dan Betha Lusiana

WaNuLCAS

MODEL SIMULASI UNTUK
SISTEM AGROFORESTRI

Diedit oleh:

Kurniatun Hairiah, Widiyanto, Sri Rahayu Utami dan Betha Lusiana

Published in January 2002

Published by:

International Centre for Research in Agroforestry

Southeast Asian Regional Research Programme

PO Box 161, Bogor, Indonesia

Tel: +62 251 625415; fax: +62 251 625416; email: icraf-indonesia@cgiar.org

Web site: <http://www.icraf.cgiar.org/sea>

ISBN 979-3198-03-6

© copyright ICRAF Southeast Asia

Foto Cover:

Foto latar dan depan: Kurniatun Hairiah

Foto belakang: Meine van Noordwijk

Layout: DN Rini, T Atikah, S Rahayu & Farida

KATA PENGANTAR

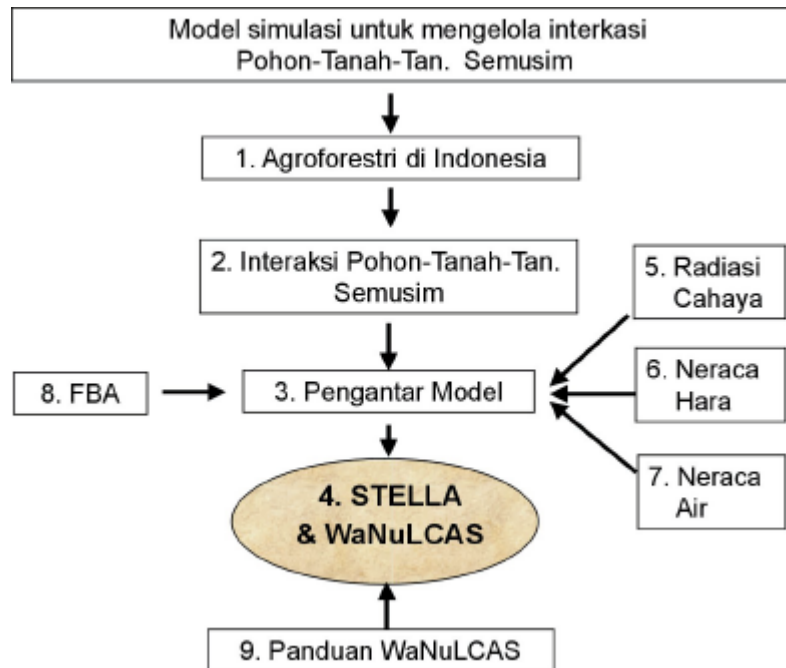
Eksplorasi sumberdaya alam secara berlebihan akan mengakibatkan kerusakan ekosistem dan berdampak negatif pada kelangsungan hidup organisme, termasuk manusia. Salah satu masalah yang banyak mendapatkan perhatian akhir-akhir ini adalah masalah pemanasan global yang terjadi karena adanya kerusakan hutan yang sudah mencapai tingkat yang mengkhawatirkan. Kerusakan hutan ini disamping disebabkan oleh meningkatnya tekanan penduduk, juga karena kita dihadapkan pada dua pilihan yang cukup sulit untuk dipisahkan yaitu antara mempertahankan fungsi hutan sebagai penyangga alam dan sebagai penyumbang perekonomian negara. Untuk memecahkan dilema ini, sistem pertanian berbasis pohon, yang dikenal dengan AGROFORESTRI barangkali merupakan pilihan yang menarik.

Sebuah model komputer untuk dipergunakan dalam sistem agroforestri yang diberi nama WaNuLCAS (*Water, Nutrient, and Light Capture in Agroforestry Sistem*) telah dikembangkan oleh ICRAF- South East Asia (*International Center of Research in Agroforestry*), Bogor. Model ini secara khusus melibatkan 3 komponen yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman yaitu air, hara dan cahaya. Model ini dikembangkan untuk mempelajari prinsip-prinsip dasar pada aneka sistem tumpang-sari pepohonan dengan tanaman (semusim).

Tujuan dari penyusunan bahan ajar (*lecture note*) ini adalah untuk menyebar-luaskan teknik penelitian dan pengajaran agroforestri dengan menggunakan model simulasi di Universitas-universitas di Indonesia, dengan harapan mahasiswa maupun peneliti dapat:

- Lebih memahami prinsip-prinsip dasar interaksi antara pohon, tanah dan tanaman semusim dalam sistem agroforestri
- Memahami model WaNuLCAS dan memanfaatkan model tersebut untuk pengelolaan agroforestri dalam praktek
- Memahami, menganalisis dan merumuskan permasalahan agroforestri di lapangan melalui diagnosis model simulasi dan mengembangkannya menjadi teknologi baru.

Bahan ajar ini terdiri dari sembilan materi yang secara skematik disajikan dalam Gambar 1, diawali dengan pendahuluan yang mengantarkan mahasiswa dan peneliti untuk mengenal WaNuLCAS dan ilmu-ilmu pengetahuan dasar lainnya yang diperlukan. *Materi 1* berisi tentang definisi, bentuk dan macam-macam agroforestri yang ada di Indonesia. Pembahasan dilanjutkan dengan keuntungan dan kendala yang ada di lapangan dalam mengembangkan agroforestri. *Materi 2*, menjelaskan tentang proses biofisik dasar dalam sistem agroforestri: interaksi antara pohon –tanah – tanaman semusim; cara pengukurannya di lapangan dan contoh-contoh hasil simulasi. *Materi 3* mengantarkan pembaca untuk lebih mengenal macam dan konsep-konsep dasar model simulasi. *Materi 4*, berisi pengenalan dasar-dasar dan persyaratan menjalankan model simulasi Stella dan WaNuLCAS.



Gambar 1. Skematik materi ajar yang ditulis dalam bahan ajar WaNuLCAS

Pemahaman akan serapan cahaya, hara dan air dalam sistem agroforestri dibahas dalam *materi 5, 6 dan 7*. Biomasa tajuk dan akar pohon merupakan salah satu masukan data penting yang dibutuhkan dalam model simulasi WaNuLCAS. Biomasa tersebut dapat diestimasi dengan menggunakan pendugaan model Functional Branch Analysis (*Materi 8*). Akhirnya petunjuk cara menginstall, menjalankan dan memodifikasi model simulasi WaNuLCAS menutup bahan ajar ini (*Materi 9*). Guna meningkatkan pengetahuan dan keterampilan mahasiswa dan peneliti hampir semua materi diberikan pertanyaan dan latihan-latihan menghitung.

Bahan ajar ini merupakan penyempurnaan bahan pelatihan yang telah digunakan dalam '**Pelatihan Model Simulasi Sistem Agro-forestri (WaNuLCAS)**' bagi mahasiswa, dosen, peneliti, penyuluh dan pengambil kebijakan. Pelatihan diselenggarakan di Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang, pada tanggal 27 - 31 Agustus 2001. Kegiatan pelatihan tersebut merupakan salah satu dari kegiatan kerjasama penelitian dan diseminasi di bidang agroforestri antara Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang dengan ICRAF South East Asia, Bogor. Sebagian dari biaya penyelenggaraan pelatihan ini diberikan oleh *Departement for International Development (DFID)*, R66523 Forestry Research Program (UK). Selanjutnya bahan ajar ini dapat disempurnakan dan diterbitkan berkat bantuan biaya dari The Netherlands Government melalui "*Direct Support to Training Institutions in Development Cooperation*" (DSO) Project dan ICRAF SE Asia, Bogor, untuk itu disampaikan terima kasih.

Ucapan terimakasih kepada teman-teman di ICRAF Bogor antara lain Tikah Atikah, Dwiati Novita Rini, Subekti Rahayu dan Farida dalam pengaturan tata letak teks dan gambar-gambar yang ada. Penghargaan juga disampaikan kepada Pratiknyo Purnomosidhi dan Ni'matul Khasanah atas kesediaanya untuk menjadi '*obyek uji coba*' dalam memahami, menilai dan memberikan saran selama penyusunan bahan ajar ini. Komunikasi email Malang – Bogor berjalan dengan lancar berkat bantuan Naning Solichah, terimakasih atas semua bantuannya.

Semoga usaha penyusunan bahan ajar ini bermanfaat bagi mahasiswa, pengajar dan peneliti agroforestri di Indonesia.

Editor

MODEL SIMULASI KOMPUTER UNTUK MENGELOLA INTERAKSI POHON-TANAH-TANAMAN SEMUSIM

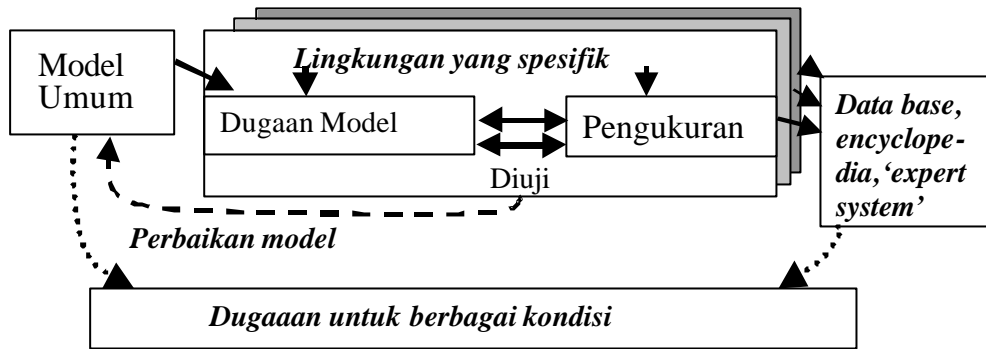
Meine van Noordwijk dan Betha Lusiana

Sistem agroforestri merupakan kombinasi berbagai jenis pohon dengan tanaman semusim. Sistem agroforestri telah dilaksanakan sejak dahulu kala oleh petani di berbagai daerah dengan berbagai macam iklim, jenis tanah dan sistem pengelolaan. Jenis tanaman yang diusahakan sangat bervariasi, misalnya buah-buahan, kayu bangunan, kayu bakar, getah, pakan, sayuran, umbi dan biji-bijian. Pengelolaan sistem agroforestri berbeda-beda antar petani. Tindakan pemupukan, pengolahan tanah, penyiangan, pemangkasan dan pemberantasan hama dan penyakit sangat tergantung pada ketersediaan modal, tenaga kerja dan budaya. Adanya perbedaan pengelolaan tersebut mengakibatkan perbedaan kuantitas dan kualitas produksi agroforestri, walaupun sistem agroforestri yang diusahakan mungkin mempunyai komponen yang sama.

Pengelolaan sistem agroforestri cukup kompleks karena menggabungkan bidang kajian ilmu kehutanan dengan pertanian, serta memadukan usaha kehutanan dengan pembangunan pedesaan untuk menciptakan keselarasan antara intensifikasi pertanian dan pelestarian hutan. Keberhasilan penerapan agroforestri menuntut adanya pemahaman yang mendalam tentang komponen yang terlibat dalam agroforestri, serta interaksi komponen tersebut. Interaksi antar komponen tersebut, atau dengan kata lain "*interaksi antara pohon dengan tanaman semusim atau dengan pohon lainnya*", merupakan satu aspek yang tidak mudah dikaji. Pengkajian proses interaksi melalui percobaan lapangan membutuhkan biaya banyak dan waktu yang lama. Cakupan studi atau percobaan yang masih terbatas, serta keragaman lingkungan yang tinggi mengakibatkan suatu hasil penelitian pada suatu tempat tidak selalu dapat diterapkan di tempat yang berbeda.

Penggunaan model merupakan salah satu pilihan untuk memahami sistem agroforestri secara efisien dan ekonomis. Pemodelan agroforestri mampu memperhitungkan pengaruh kondisi lokasi yang beragam dan menghasilkan keluaran yang mendekati kenyataan. Usaha pemahaman terhadap sistem agroforestri dapat dilakukan melalui pendekatan langsung secara empiris. Pendekatan ini sering dilakukan petani yaitu dengan langsung mencoba, mengamati dan membuktikannya di lahannya sendiri. Pendekatan ini mungkin dapat memberikan hasil yang akurat, namun sulit diterapkan pada penelitian formal. Pendekatan empiris untuk penelitian formal akan membutuhkan jumlah pengukuran yang sangat banyak, sehingga sulit untuk dilaksanakan dan tidak efisien. Tersedianya model simulasi ini akan mempermudah petani dalam mengambil keputusan dan memperbaiki strategi pengelolaan lahannya di masa yang akan datang.

Model merupakan penjabaran sederhana dari berbagai bentuk hubungan dan interaksi antar komponen dalam suatu sistem. Bila bentuk hubungan ini diketahui dengan baik, maka dapat disusun menjadi suatu persamaan matematis untuk menjabarkan berbagai asumsi yang ada. Hasil dari pendugaan model umumnya masih berupa 'hipotesis' yang harus diuji kebenarannya pada 'dunia yang nyata'. Hubungan antara model dan langkah-langkah pengujiannya disajikan secara skematis pada Gambar 1.

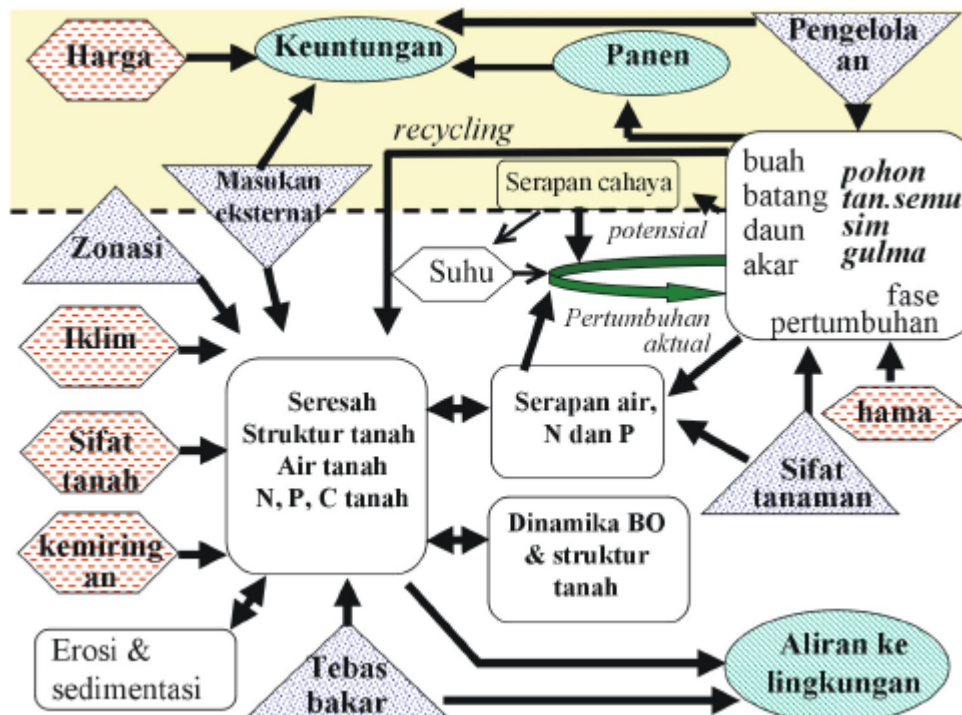


Gambar 1. Langkah-langkah kegiatan pemodelan.

Hasil yang diperoleh melalui pendugaan model tidak selalu sejalan dengan kenyataan yang ada di lapangan. Bila terjadi perbedaan, maka ada dua hal yang harus dilakukan:

- Memeriksa ulang struktur model, termasuk nilai parameter-parameter yang dipergunakan untuk mengawali pemodelan dan konsistensi internal model (apakah keluarannya sejalan dengan asumsi-asumsi yang ada), atau
- Memeriksa ulang cara pengukuran parameter di lapangan, dengan memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhinya secara seksama.

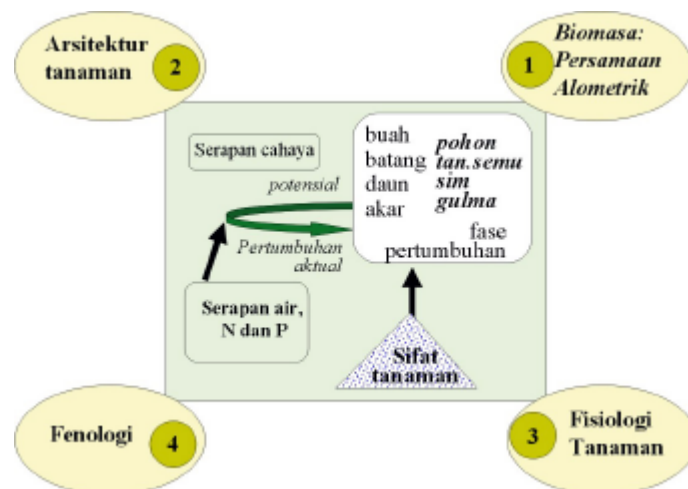
Model agroforestri yang dibicarakan di sini membahas masalah biofisik yang berhubungan dengan interaksi antara “pohon- tanah-tanaman semusim” pada berbagai macam sistem agroforestri. Model ini juga dapat digunakan untuk menganalisis keuntungan dan kerugian yang timbul akibat berubahnya suatu pengelolaan serta proses-proses yang terlibat di dalamnya (Gambar 2).



Gambar 2. Beberapa proses dasar yang terlibat dalam model Agroforestri (Box berbentuk hexagon = variabel masukan eksternal; segitiga = keputusan yang diambil oleh petani; elips (lonjong) = keluaran yang diharapkan).

Dari gambar tersebut terlihat bahwa ada 4 kelompok utama yang menyusun model agroforestri yaitu tanaman, tanah, cara pengelolaan dan produksi. Komponen-komponen yang terlibat dalam agroforestri yang digambarkan secara skematis dalam Gambar 2 selanjutnya dapat dikaji secara terpisah, sebagai berikut:

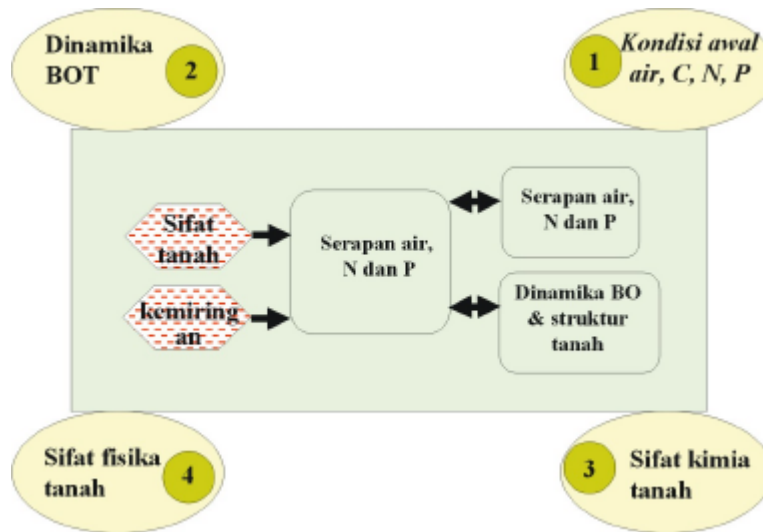
- **Komponen Tanaman** (Gambar 3). Semua tanaman memiliki karakteristik umum yang sama, yaitu dapat tumbuh dan memiliki batang, daun, akar dan sebagainya. TETAPI mereka mempunyai karakteristik yang berbeda-beda, ada yang berdaun lebar, ada yang berdaun sempit, ada yang merambat, ada yang tumbuh tegak lurus; ada yang merontokkan daunnya selama musim kemarau dan ada pula yang hijau sepanjang tahun. Distribusi daun dalam tajukpun berbeda-beda. Perbedaan morfologis ini mengakibatkan kebutuhan air, hara dan cahaya berbeda, baik ditinjau dari jumlah, jenis dan waktu membutuhkannya. Dengan demikian, interaksi antar tanaman dapat diduga dengan memanfaatkan pengetahuan pada (1) besarnya biomasa tanaman, yang dapat diduga melalui pengembangan persamaan allometrik berdasarkan pengukuran diameter batang dan tinggi tanaman; (2) arsitektur tanaman, baik bagian bawah tanah (akar) maupun bagian atas tanah, misalnya distribusi daun secara spasial dalam tajuk yang ditopang oleh batang dan cabang; (3) fisiologi tanaman, yang berhubungan dengan respon tanaman terhadap cekaman internal maupun eksternal; alokasi karbohidrat dalam tanaman; (4) fenologi, yang berhubungan dengan respon pertumbuhan tanaman terhadap perubahan lingkungan external dan internal. Misalnya daun gugur, pembentukan tunas baru dan sebagainya.



Gambar 3. Proses-proses yang berhubungan dengan pertumbuhan tanaman dan pengetahuan-pengetahuan dasar yang dibutuhkan.

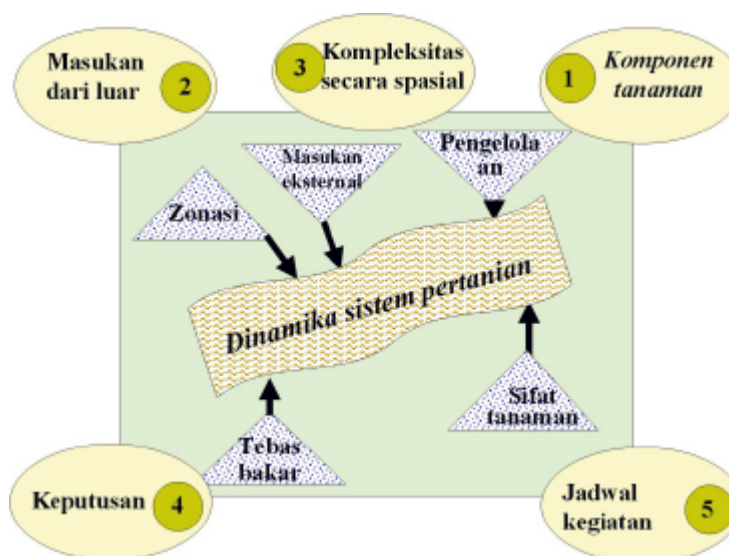
- **Komponen tanah** (Gambar 4). Semua tanah tersusun atas air, mineral, bahan organik dan udara. Yang membedakan suatu tanah dengan tanah yang lain adalah jumlah dan komposisi keempat penyusun tersebut. Letak di dalam profil tanah juga berbeda-beda. Untuk memahami fungsi tanah sebagai media tumbuh tanaman dalam sistem agroforestri, beberapa pengetahuan dasar yang dibutuhkan antara lain: 1) kandungan air tanah, C, N dan P tersedia pada kondisi awal simulasi; 2) dinamika bahan organik tanah (BOT), hubungan transformasi BO dengan kandungan liat tanah; 3) sifat-sifat kimia tanah, misalnya ketersediaan hara dalam larutan tanah, adsorpsi dan desorpsi hara oleh

mineral liat, 4) sifat-sifat fisika tanah, misalnya distribusi air ke arah horisontal maupun vertikal di dalam profil tanah setelah hujan dan dan serapan air oleh akar tanaman.



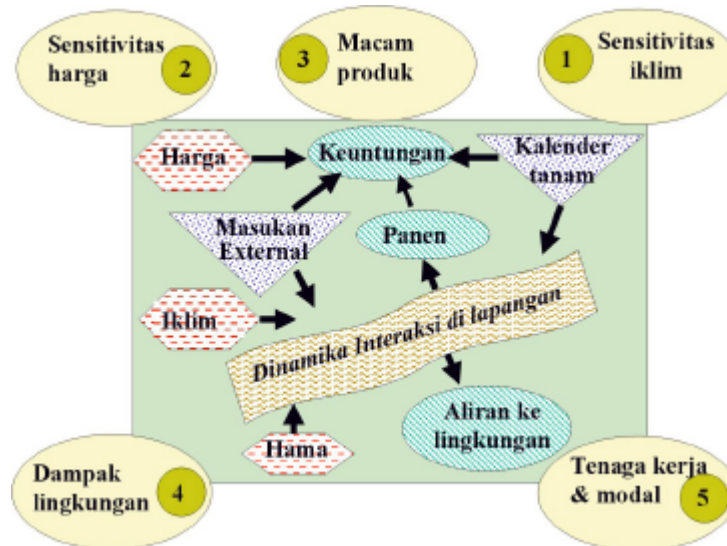
Gambar 4. Proses-proses yang berhubungan dengan peran tanah sebagai media tumbuh tanaman dan pengetahuan-pengetahuan dasar yang dibutuhkan.

- **Cara pengelolaan** (Gambar 5). Semua sistem pertanian mempunyai tujuan yang sama yaitu memperoleh produksi tanaman yang optimum. Namun cara pengelolaan sistem pertanian sangat bervariasi. Perbedaan pengelolaan itu meliputi perbedaan teknik penyediaan lahan, sifat tanaman yang ditanam, posisi/pengaturannya di dalam petak, pemupukan, pemangkasan dan kalender tanamnya, dll. Pemilihan cara pengelolaan yang tepat memerlukan pengetahuan dasar tentang 1) tanaman penyusunnya: jenis pohon, tanaman semusim dan gulma yang tumbuh; 2) pemupukan: penggunaan pupuk organik atau anorganik; (3) heterogenitas atau kompleksitas lahan secara spasial; (4) pengambilan keputusan: berdasarkan aturan baku dan disesuaikan dengan kondisi lapangan, (5) Jadwal kegiatan yang meliputi tanggal tanam, pengolahan tanah, pemupukan, penyiangan, panen dan sebagainya.



Gambar 5. Proses-proses yang berhubungan dengan pengelolaan lahan dalam sistem agroforestri dan pengetahuan-pengetahuan dasar yang dibutuhkan.

- **Produksi Tanaman** (Gambar 6). Semua sistem pertanian menghasilkan produk, tetapi berbeda dalam pengelolaan dan keuntungan yang diperoleh, sensitivitas terhadap hama dan lingkungan. Untuk memahami hal ini diperlukan pengetahuan dasar tentang: 1) kepekaan terhadap variabilitas iklim dan hama; 2) kepekaan terhadap fluktuasi harga; 3) macam produk; 4) dampak lingkungan seperti aliran air dan hara dalam tanah, emisi gas rumah kaca, cadangan karbon; dan 5) ketersediaan modal dan tenaga kerja untuk melaksanakan keputusan yang diambil.



Gambar 6. Proses-proses yang berhubungan dengan produk yang diperoleh dalam sistem agroforestri dan pengetahuan-pengetahuan dasar yang dibutuhkan.

Dari uraian di atas, menarik untuk dipelajari bahwa pada dasarnya semua sistem agroforestri mempunyai sifat yang sama bila dikelola berdasarkan masukan yang sama. Dengan demikian semua sistem agroforestri dapat disederhanakan dalam suatu model. Pada saat ini tersedia banyak model simulasi agroforestri yang telah dikembangkan oleh berbagai ilmuwan. Dalam memilih model harus disesuaikan dengan keperluan dan tujuannya. Salah satu ciri dari model simulasi yang baik adalah *'user friendliness'* (kemudahan bagi para pemakainya). Beberapa kriterianya disajikan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Beberapa tujuan menggunakan simulasi model dan konsep *'user friendliness'*.

No	Tujuan	Konsep <i>'user friendliness'</i> ini ditentukan oleh:
1.	Menggunakan hasil pendugaan seperti apa adanya (seperti bila anda membaca berita koran tentang ramalan ekonomi di masa yang akan datang) karena diperoleh kesan baik tentang asumsi dan keluaran model tersebut.	Asumsi yang jelas dan keluaran hasil yang menarik dan mudah dimengerti.
2.	Menggunakan parameter-parameter baru untuk menjalankan model tersebut dan mencoba menginterpretasikan keluarannya pada kondisi tertentu.	Mudah dijalankan dan memiliki nilai parameter input yang lengkap untuk berbagai kondisi.
3.	Menggunakan model untuk kondisi dan sistem baru, melakukan analisis sensitivitasnya dan membuat rencana penelitian di masa yang akan datang serta pengukuran-pengukurannya di lapangan.	Dapat diterapkan pada berbagai macam sistem
4.	Memodifikasi model dengan menambahkan struktur tambahan yang mencerminkan hipotesis-hipotesis baru.	Fleksibel/ mudah dimodifikasi

Pada seri 'lecture note' ini peserta ditargetkan untuk mencapai target tujuan 1, 2,3 dan mungkin 4 dari tabel tersebut di atas. Pengetahuan dasar akan interaksi di atas dan di dalam tanah sangat diperlukan untuk mencapai tujuan tersebut. Setiap model tentu saja dapat diperlakukan sebagai 'kotak hitam' dan anda dapat mencoba untuk mempelajari perilakunya seperti seorang petani yang sering mencoba-coba teknik pengelolaan di lahannya. Model WaNuLCAS ini disusun dari beberapa komponen yang masing-masing dapat dipelajari secara terpisah-pisah sehingga akan mempermudah pemahamannya. Selamat bekerja.

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Model Simulasi Komputer untuk Mengelola Interaksi Pohon-Tanah-Tanaman Semusim (<i>Meine van Noordwijk dan Betha Lusiana</i>)	v
Bahan Ajar 1. Sistem Agroforestri di Indonesia (<i>Kurniatun Hairiah, Widiyanto dan Sunaryo</i>)	1
1. Agroforestri: ilmu baru, teknik lama	1
2. Jenis Agroforestri	2
2.1. Sistem Agroforestri Sederhana	2
2.2 Sistem Agroforestri Kompleks: Hutan dan Kebun	4
3. Aneka Praktek Agroforest di Indonesia	6
4. Mengapa agroforest perlu mendapat perhatian?	10
4.1 Sudut Pandang Pertanian	10
4.2 Sudut Pandang Petani	10
4.3 Sudut Pandang Peladang	12
4.4 Sudut Pandang Kehutanan	12
5. Kelemahan dan Tantangan Agroforest	16
5.1 Kelemahan	16
5.2 Ancaman Keberlanjutan (dikutip dari de Foresta et al., 2000)	16
Bahan Bacaan	18
Bahan Ajar 2. Interaksi Antara Pohon - Tanah - Tanaman Semusim: Kunci keberhasilan atau kegagalan dalam sistem agroforestri (<i>Kurniatun Hairiah, Meine van Noordwijk dan Didik Suprayogo</i>)	19
1. Pendahuluan	19
2. Interaksi Pohon – Tanah – Tanaman Semusim	20
2.1 Proses Terjadinya Interaksi: <i>langsung atau tidak langsung</i>	20
2.2 Faktor Penyebab Terjadinya Interaksi	21
2.3 Jenis Interaksi Pohon-Tanah-Tanaman	23
3. Bagaimana Menganalisa Interaksi Pohon Dan Tanaman Semusim Secara Kuantitatif?	28
3.1 Model Mulsa dan naungan (<i>Mulch + shade model</i>)	28
3.2 Model Penggunaan Air Hara Cahaya (<i>WaNuLCas: Water Nutrient Light Capture</i>).	29
3.3 Bagaimana caranya menganalisis dan mensintesis interaksi Pohon-Tanah-Tanaman semusim pada sistem Agroforestri?	31
4. Bagaimana Merancang Percobaan Di Lapangan Untuk Memisahkan Pengaruh Positif Dan Negatif Pohon ?	32
5. Mengelola Interaksi Pohon-Tanah-Tanaman	35
5.1 Menekan pengaruh negatif pohon	35
5.2 Meningkatkan pengaruh positif pohon: Pemilihan jenis tanaman naungan	38
6. Penutup	38
Bahan Bacaan	39

Bahan Ajar 3. Konsep Dasar Model Simulasi (<i>S.M. Sitompul</i>)	43
1. Pendahuluan	43
1.1 Dunia nyata dan Sistem	43
1.2 Model Sistem	44
2. Terminologi	45
2.1 Sistem dan Model	45
2.2 Batas Sistem	47
2.3 Peubah dan Parameter	48
2.4 Proses	49
2.5 Simbol Diagram	49
2.6 Simulasi dan Program Komputer	50
3. Jenis Model	52
3.1 Model Matematik	52
3.2 Model Kontinu dan Diskret	54
3.3 Model Empiris dan Mekanistik	54
3.4 Model Statis dan Dinamis	55
3.5 Model Deterministik dan Stokastik	55
3.6 Model deskriptif	55
3.7 Model Eksplanatori	56
4. Klasifikasi Sistem Produksi	58
4.1 Produksi Tingkat 1	58
4.2 Produksi Tingkat 2	59
4.3 Produksi Tingkat 3	60
4.4 Produksi Tingkat 4	61
Bahan Bacaan	62
Bahan Ajar 4. STELLA[®] dan MODEL WaNuLCAS (<i>Sunaryo, Didik Suprayogo dan Betha Lusiana</i>)	63
1. Pendahuluan	63
2. Bahasa pemrograman STELLA	64
2.1 Lingkungan Stella yang berlapis dan berjenjang (layering)	64
3. Pengenalan WaNuLCAS	66
3.1 Data yang diperlukan WaNuLCAS	67
4. Tahapan persiapan dan parameterisasi dalam model WaNuLCAS	68
4.1 Menterjemahkan sistem agoroforestri yang disimulasikan ke dalam model WaNuLCAS	68
4.2 Menentukan komponen-komponen input yang relevan untuk disimulasikan	69
4.3 Menentukan parameter keluaran	70
5. Keluaran Hasil Simulasi dan Interpretasinya	70
5.1 Evaluasi keluaran model	70
5.2 Penyajian hasil simulasi	70
Bahan Bacaan	78

Bahan Ajar 5. Radiasi Dalam Sistem Agroforestri (<i>S.M. Sitompul</i>)	79
1. Pendahuluan	79
2. Konsep Dasar Radiasi	80
2.1 Emisi Radiasi	80
2.2 Teori Gelombang dan Kuanta	81
2.3 Cahaya dan PAR	82
3. Energi Radiasi dan Pertumbuhan Tanaman	84
4. Intersepsi Cahaya	86
4.1. Radiasi Datang	86
4.2 Radiasi Dalam Tajuk	89
5. Model Cahaya Agroforestri	93
5.1 Cekaman lingkungan dalam sistem agroforestri: Efisiensi Konversi	97
5.2 Intersepsi Cahaya model WaNuLCAS	100
Bahan Bacaan	102
Bahan Ajar 6. Neraca Hara dan Karbon Dalam Sistem Agroforestri (<i>Kurniatun Hairiah, Sri Rahayu Utami, Betha Lusiana dan Meine van Noordwijk</i>)	105
1. Konsep dasar siklus hara dalam sistem agroforestri	105
1.1 Siklus hara	105
1.2 Siklus karbon (C)	106
2. Ketersediaan BOT dan hara di daerah tropis	107
2.1 Fungsi BOT	107
2.2 Ketersediaan BOT di daerah tropik	108
3. Pengukuran kandungan BOT	109
3.1 Mempertahankan Kandungan BOT	111
4. Peranan agroforestri dalam mempertahankan kandungan BOT dan ketersediaan hara dalam tanah	112
4.1 Sumbangan bahan organik dalam sistem agroforestri	113
4.2 Kualitas bahan organik	115
4.3 Efisiensi penggunaan hara	116
5. Neraca hara	118
6. Neraca C dalam WaNuLCAS	120
7. Latihan: Model Penyediaan Unsur Hara menggunakan model WaNuLCAS	121
Penutup	123
Bahan Bacaan	123

Bahan Ajar 7. Neraca air dalam sistem agroforestri (<i>Didik Suprayogo, Widiyanto, Betha Lusiana dan Meine van Noordwijk</i>)	125
1. Pendahuluan: Keseimbangan Air Sistem Agroforestri	125
2. Keseimbangan Air menurut Model WaNuLCAS	127
2.1 Simpanan air tanah, infiltrasi dan evaporasi	127
2.2 Serapan air	129
2.3 'Run-on dan Run-off	131
2.4 Dinamika Pembentukan dan Penurunan Ruang Pori Makro	132
3. Membandingkan Hasil Simulasi WaNuLCAS dengan Hasil Pengukuran Lapangan	132
4. Latihan	134
Bahan Bacaan	135
Bahan Ajar 8. Estimasi biomasa tajuk dan akar pohon dalam sistem agroforestri: analisis cabang fungsional (<i>Functional Branch Analysis, FBA</i>) untuk membuat persamaan alometrik pohon (<i>Meine van Noordwijk, Rachmat Mulia dan Kurniatun Hairiah</i>)	137
1. Pendahuluan	137
2. Konsep dasar model	139
3. Menduga biomasa tajuk dan akar pohon menggunakan program ' <u>WanFba</u> '	143
3.1 Data yang perlu disiapkan untuk WanFba	144
3.2 Input WanFba yang diestimasi dari data pengamatan lapangan	149
3.3 Informasi yang dapat diperoleh dari WanFba	150
4. Penutup	151
Bahan Bacaan	152
Bahan Ajar 9. Panduan Menggunakan Model WaNuLCAS Versi 2.06 (<i>Betha Lusiana dan Rachmat Mulia</i>)	153
1. Pendahuluan	153
2. Menggunakan model WaNuLCAS	153
2.1 Meng- <i>install</i> model WaNuLCAS	153
2.2 Membuka model WaNuLCAS	154
2.3 Mulai menggunakan model WaNuLCAS	155
2.4 Membuat perubahan dalam file WaNuLCAS.stm	164
3. Latihan	164
3.1 Mendefinisikan Sistem Agroforestri dan Kalender Tanaman	164
3.2 Mendefinisikan sistem pengelolaan tanaman	166
3.3 Mengatur Parameter Iklim	168
3.4 Mengatur Input Kandungan Air Tanah dan Sifat Hidrolik Tanah	169
Bahan Bacaan	170
Daftar Nama dan Alamat Penulis	171